

# 职业健康风险评估方法学研究进展

周莉芳, 张美辨

浙江省疾病预防控制中心职业健康与辐射防护所, 浙江 杭州 310051

## 摘要:

近年来, 职业健康风险评估备受重视。国内学者应用国外风险评估方法开展不同行业职业健康风险评估并对其进行改良, 在此基础上建立了我国第一个职业健康风险评估标准。本文主要介绍了国际上引入的罗马尼亚模型、澳大利亚模型、国际采矿和金属委员会模型和英国健康危害物质控制策略简易法模型等定性职业健康风险评估方法, 美国环境保护署吸入风险评估模型、有毒气体半球扩散模型和生理药代动力学模型等定量职业健康风险评估方法, 新加坡模型、模糊数学风险评估模型、作业条件危险性评价法和职业危害风险指数评估法等半定量职业健康风险评估方法, 以及全球化学品统一分类和标签系统在国内的应用研究; 简述了职业健康风险评估方法学优化和比较研究; 对我国职业健康风险评估相关标准《职业接触毒物危害程度分级》和《工作场所职业病危害作业分级》, 以及《工作场所化学有害因素职业健康风险评估技术导则》中定量、定性和半定量风险评估模型及其应用研究进行了简要介绍; 提出今后的研究方向为在关键行业广泛应用职业健康风险评估方法以评估其适用性, 对不同方法开展定量比较研究以及进一步开展优化或建模研究。

**关键词:** 职业健康; 风险评估; 方法学; 优化研究; 比较研究

**Research progress on occupational health risk assessment methodology** ZHOU Li-fang, ZHANG Mei-bian (Institution for Occupational Health and Radiation Protection, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China)

## Abstract:

Occupational health risk assessment has been highly regarded in recent years. Domestic scholars have applied some international risk assessment methods to different industries and have further optimized these methods. On this basis, China's first national occupational health risk assessment standard has been established. This paper mainly introduced domestic research on the application of qualitative occupational health risk assessment methods such as Romanian model, Australian model, International Council on Mining & Metals (ICMM) model, and Control of Substances Hazardous to Health Essentials (COSHH Essentials) model, quantitative occupational health risk assessment methods such as US Environmental Protection Agency (EPA) inhalation risk assessment model, toxic gas hemisphere diffusion model, and physiologically based pharmacokinetics (PBPK) model, semi-quantitative occupational health risk assessment methods such as Singapore model, fuzzy mathematical risk assessment model, likelihood exposure consequence (LEC) method, and occupational hazard risk index assessment method, as well as the globally harmonized system of classification and labeling of chemicals. It also briefly introduced the optimization and comparison of occupational health risk assessment methods as well as the occupational health risk assessment standards in China, such as *Classification for hazards of occupational exposure to toxicant*, *Classification of occupational hazards at workplaces*, and the quantitative, qualitative and semi-quantitative risk assessment models of *Guidelines for occupational health risk assessment of chemicals in the workplace*. The paper proposed that future research ought to widely apply occupational health risk assessment methods to key industries to assess their applicability and conduct quantitative comparative studies, optimizing studies, and modeling studies.

**Keywords:** occupational health; risk assessment; methodology; optimizing study; comparative study

职业健康风险评估是通过全面、系统地识别和分析工作场所风险因素及防护措施, 定性或定量地测评职业健康风险水平, 从而采取相应控制措施的过程。2007年, 原卫生部颁布的《建设项目职业病危害评价技术导则》(GBZ/T

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.19509

## 组稿专家:

张美辨 (浙江省疾病预防控制中心职业健康与辐射防护所), E-mail: mbzhang@cdc.zj.cn

## 基金项目:

国家自然科学基金 (81472961); 浙江省医药卫生科技项目 (2019KY057); 浙江省重点研发项目 (2015C03039); 广东省职业病防治重点实验室开放课题基金资助 (2017B030314152); 浙江省卫生高层次创新人才培养工程项目 (无编号); 浙江省 151 人才培养项目 (无编号)

## 作者简介:

周莉芳 (1985—), 女, 硕士, 主管医师; E-mail: lfzhou@cdc.zj.cn

## 通信作者:

张美辨, E-mail: mbzhang@cdc.zj.cn

利益冲突 无申报

收稿日期 2019-07-30

录用日期 2019-09-09

文章编号 2095-9982(2020)02-0125-06

中图分类号 R134

文献标志码 A

## 引用:

周莉芳, 张美辨. 职业健康风险评估方法学研究进展 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37(2): 125-130.

## 本文链接:

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19509

## Funding:

This study was funded.

## Correspondence to:

ZHANG Mei-bian, E-mail: mbzhang@cdc.zj.cn

**Competing interests** None declared

**Received** 2019-07-30

**Accepted** 2019-09-09

## To cite:

ZHOU Li-fang, ZHANG Mei-bian. Research progress on occupational health risk assessment methodology[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(2): 125-130.

## Link to this article:

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19509

196—2007) 明确提出将风险评估法应用于建设项目职业病危害评估<sup>[1]</sup>。《中华人民共和国职业病防治法》(2011年修订版)<sup>[2]</sup>规定:“国务院卫生行政部门应当组织开展重点职业病监测和专项调查,对职业健康风险进行评估,为制定职业卫生标准和职业病防治政策提供科学依据。”职业健康风险评估成为我国卫生行政部门的职能之一。近年来,国内对职业健康风险评估工作越来越重视,有学者将国际上一些风险评估方法应用于不同行业的职业健康风险评估领域,同时对其进行方法学的改良和优化,开启了我国职业健康风险评估标准的制定之路。本文综述了对近年来我国职业健康风险评估方法学应用和研究进展。

## 1 国际常用职业健康风险评估方法

国际上常用风险评估模型的核心原理基本相似,大多以危害程度、暴露水平和发生概率为基础,一般可按定性、定量与半定量进行分类<sup>[3]</sup>。我国学者从国际上引入一些相对比较成熟的风险评估指南或规范,在职业健康风险评估领域进行了应用和技术创新,并在全国范围内推广,为我国职业健康风险评估方法学研究提供了科学基础<sup>[4-5]</sup>。

### 1.1 定性风险评估方法

我国目前应用研究较多的定性职业健康风险评估方法主要有罗马尼亚职业事故和职业病风险评估方法(简称罗马尼亚模型)<sup>[6]</sup>、澳大利亚职业健康与安全风险评估管理导则(简称澳大利亚模型)<sup>[7]</sup>、国际采矿和金属委员会(International Council on Mining & Metals, ICMM)职业健康风险评估操作指南(简称ICMM模型)<sup>[8]</sup>、英国健康有害物质控制策略简易法(Control of Substances Hazardous to Health Essentials, 简称COSHH Essentials模型)<sup>[9]</sup>。

罗马尼亚模型评估工作场所风险因子对人体可能造成的最严重后果和发生概率,根据严重性-可能性等级组合结果确定风险水平。邹亚玲等<sup>[10]</sup>将其应用于胶黏剂生产企业中,发现该模型主观性较强,容易将危害因素造成的健康危害程度判断过重,导致风险水平偏高,认为该模型更适用于事故状态下的风险评估。余晓峰等<sup>[11]</sup>在贵金属冶炼厂的应用研究结果表明,罗马尼亚模型虽然主观性较强,后果发生可能性不易判断,但是可同时用于化学和物理因素的职业健康风险评估,还可计算工作场所总体风险评估,在综合风险评估上具有明显优势。

澳大利亚模型根据后果发生的可能性、暴露频率和后果严重程度,通过由几条连线组成的风险评估计算器来确定风险水平,简单易操作,评估范围广,适合中小企业职业卫生管理人员开展风险评估<sup>[12]</sup>。王莎莎等<sup>[13]</sup>在蓄电池生产企业中应用该模型,认为在应用于特定企业风险评估时,该模型存在容易出现偏倚、对评估人员能力要求较高、控制措施有效性评价较为主观等不足,更适用于评估某行业整体的风险水平。

ICMM模型综合考虑可能发生的健康后果、接触概率和接触时间等因素,通过赋值定量法或矩阵法确定风险水平。其中,赋值定量法适用于缺少工作场所职业病危害因素检测结果的情况,矩阵法适用于收集到检测结果的情况。但是国内学者将其应用于多个行业后认为ICMM模型的两种方法评估结果一致性较差,且赋值定量法容易高估职业健康风险水平<sup>[14-15]</sup>。

COSHH Essentials模型根据危险度术语或职业接触限值判定化学物的危害等级,根据扬尘性或挥发性及使用量确定接触等级,根据危害等级和接触等级判定风险等级以及相应的控制措施。陈林等<sup>[16]</sup>将其应用于铅酸蓄电池企业职业健康风险评估,认为该方法简单易行,但未考虑防护措施和现场浓度,对评估结果准确性有所影响。

### 1.2 定量风险评估方法

近年来我国应用最为广泛的定量职业健康风险评估模型为美国环境保护署(Environmental Protection Agency, EPA)风险评估指南人体健康风险评估手册A部分<sup>[17]</sup>及F部分的吸入风险评估补充指南<sup>[18]</sup>(简称美国EPA吸入风险评估模型)。美国EPA吸入风险评估模型在我国多个行业进行了应用<sup>[19-20]</sup>,该模型可对各行业多种化学物的致癌风险和非致癌风险进行评估,同时考虑多种化学物联合毒性,相对准确地计算化学毒物的风险水平,但是该模型只能评估吸入途径导致的健康风险,且受限于美国EPA网站毒物数据库可查询到毒性参考值(reference concentration, RfC)和吸入单位风险(inhalation unit risk, IUR)的化学毒物。

有毒气体半球扩散模型是毒气泄漏的理论扩散模型,其原理为静风、无稀释条件下,考虑化学物的理化特性、毒性和泄漏量等参数,模拟毒气泄漏后气体的扩散行为,最早用于事故状态下的安全性评价<sup>[21]</sup>。陈晓敏等<sup>[22]</sup>认为该模型可用于建设项目职业病危害评价中有毒气体储罐泄露危害区域的风险评估。

生理药代动力学(physiologically based

pharmacokinetics, PBPK) 模型主要用于有毒化学物的安全性评价、药物代谢分析和新药研发等研究中。国内有学者应用 PBPK 模型对加油站员工甲基叔丁基醚所致健康风险和大型石油化工企业苯暴露的致癌风险进行评估,发现加油站员工暴露于甲基叔丁基醚和石化企业工人苯暴露均存在致癌风险<sup>[23-24]</sup>。该模型的应用研究为我国定量职业健康风险评估研究提供了理论依据,但是国内的组织和人体参数相关数据较少,应用过程中不确定性较大。

### 1.3 半定量风险评估方法

新加坡化学毒物职业暴露半定量风险评估方法(简称新加坡模型)<sup>[25]</sup>是我国目前在化学物的职业健康风险评估方面应用和研究最广泛的半定量职业健康风险评估方法。该方法根据化学物的理化特性、毒理学资料和暴露情况等要素,判定危害等级(HR)和暴露等级(ER),根据公式 $Risk = \sqrt{HR \times ER}$ 计算得到风险水平,其中暴露等级可以通过工作场所空气中化学物浓度计算得来,也可以根据暴露指数确定。该方法在我国造纸、化工、电镀、印刷、家具制造等多个行业进行了应用<sup>[26-28]</sup>,与其他评估方法的评估结果一致性较高,较为客观;但是该方法无法对物理因素进行评估,且计算暴露指数时采用的暴露因子在应用于我国职业健康风险评估时也存在适用性的问题。

模糊数学风险评估模型是根据模糊数学隶属度理论建立数学模型 $B = A \times R$ ,B为总评价分值,A为权重分配集,R为职业病危害因素检测值构成的模糊矩阵。曹素红<sup>[29]</sup>应用模糊数学风险评估模型和新加坡模型对某汽车零部件制造企业进行职业健康风险评估,发现模糊数学风险评估模型应用范围广,且与新加坡模型的评估结果一致性较高。

作业条件危险性评价(likelihood exposure consequence, LEC)法又称格雷厄姆-金尼评价法,通过危害发生的可能性、劳动者接触危害因素的频繁程度和危害发生可能造成的后果的乘积来计算健康风险。该方法是一种简单易行的半定量风险评估方法,但有学者将其应用于铅尘作业岗位的职业健康风险评估,发现LEC法容易高估健康危害后果,从而高估风险水平<sup>[30]</sup>。

林嗣豪等<sup>[31]</sup>在英国职业健康安全管理体系和美国职业接触评估管理策略的基础上,建立了职业危害风险指数评估法,该方法的核心公式为:风险指数=2<sup>健康效应等级</sup>×2<sup>暴露比值</sup>×作业条件等级。该方法可用于

多个行业职业健康风险评估<sup>[32-33]</sup>,综合考虑后果严重性、可能性和作业环境条件,提高了评估结果的科学性,但是在作业条件等级的判定时主观性仍较强。

### 1.4 全球化学品统一分类和标签系统(globally harmonized system of classification and labeling of chemicals, GHS)

为了科学管理危险化学品,统一各国化学品危险性分类和标签制度,指导各国建立统一、协调的化学品管理控制框架,联合国有关机构创建了GHS。GHS将化学物按照物理危险性、健康危害和环境危害将化学品危险类别分为28种<sup>[34-35]</sup>。胡训军等<sup>[36]</sup>对化学混合物GHS分类方法在职业危害风险评估中的应用进行了探讨,认为GHS方法可作为我国职业卫生标准的补充,用于混合化学物的职业健康风险评估,但是该方法涉及的标准文件多,程序复杂,化学品毒性数据检索取舍专业性强,且需要量化工作场所各化学物品实际检测百分比,这些都影响了该方法的推广使用;今后如要应用于职业健康风险评估,尚需建立更具体的评价指标体系。

## 2 职业健康风险评估方法学优化和比较研究

### 2.1 优化研究

上述国际常用的风险评估方法由于其制定背景和国情以及最初应用的领域不同,将其应用于国内职业健康风险评估时,适用性上常常存在问题,国内学者也对其中一些方法进行了优化。比如,针对新加坡模型的缺点,栾俞清等<sup>[37]</sup>在该模型的基础上,从危害等级和暴露等级两方面进行改良,建立了简单组合法和综合改良法,并研究其在木质家具制造等行业中的适用性。简单组合法是将暴露浓度作为暴露指数的暴露因素之一,通过计算暴露指数确定暴露等级。综合改良法则根据化学毒物的理化特性、毒性和实际危害及预后等因素确定危害等级,参考ICMM模型将物理因素危害等级分为5级,并且根据我国职业病防治相关法律和法规对暴露指数进行了调整。改良后的风险评估模型不仅保留了新加坡模型的优点,还增加了物理因素风险评估,为建立符合我国职业健康风险评估标准奠定了基础。

### 2.2 比较研究

国外职业健康风险评估方法由不同国家或国际组织研制,各方法具有不同原理和方法学特征。为深入探索不同方法的优点和局限性,建立适合我国的职

业健康风险评估方法,我国学者进行了风险评估方法的比较研究。田芳等<sup>[38]</sup>基于比较分析法的思想,对美国EPA吸入风险评估模型、新加坡模型、澳大利亚模型、罗马尼亚模型、ICMM模型和COSHH Essentials模型共6种国外引入的职业健康风险评估模型进行了比较研究,包括定性比较和定量比较两部分。其中,定性比较采用专家咨询法、文献归纳法和关键知情人访

谈等方法建立了适用性、科学性、客观性、指导性和可操作性5个指标体系,定量比较通过分级转换和引入风险比值的方式进行可比性转换,进而比较方法之间的一致性和相关性。比较研究结果显示,结合新加坡模型、美国EPA吸入风险评估模型和COSHH Essentials模型的评估结果更能全面反映风险水平,而新加坡模型与其他模型的一致性最高,具体见表1。

表1 不同职业健康风险评估模型之间关键信息差异  
Table 1 Differences among several occupational health risk assessment models

评估模型	性质	适用范围	评估方法	风险分级	优点	局限性
美国EPA模型	定量	化学毒物	剂量-反应关系评估	2级	致癌效应和非致癌效应评估;由大量实验室、流行病学数据作为支撑	仅限于可查IUR和RfC的化学毒物;不能细分风险
澳大利亚模型	定性	化学毒物、物理因素和粉尘	手工图	5级	可操作性强,简单易行;适用范围广;适用于中小企业	依赖主观判断;评估需要具备专业知识
罗马尼亚模型	定性	化学毒物、物理因素和粉尘	矩阵	7级	适用范围广;可计算总体风险水平	依赖主观判断;较难判断后果发生的概率
新加坡模型	半定量	化学毒物和粉尘	半定量计算器	5级	同时使用定量和定性方法;缺乏作业场所空气中有毒物质的检测资料时仍可利用暴露指数法	暴露指数分类较粗
ICMM模型	定性	化学毒物、物理因素和粉尘	矩阵、定量评级	4级	适用范围广;可应用于不同企业	依赖主观判断;定量评级法易出现风险高估现象
COSHH Essentials模型	定性	化学毒物和粉尘	分级	4级	操作简便易行;适用于中小型企业	易于高估风险;评估液体挥发性时易出现偏倚

### 3 我国职业健康风险评估标准及其应用研究

2010年,我国制定了《职业接触毒物危害程度分级》(GBZ 230—2010)和《工作场所职业病危害作业分级》(GBZ/T 229—2010)等标准,对接触生产性粉尘、化学毒物、高温和噪声的健康危害进行分级。化学物职业病危害程度分级采用毒物危害指数,并规定工作场所同时存在多个毒物时,危害程度级别取最严重的化学物计算,只要工作场所空气中化学毒物浓度未超过职业接触限值,其职业病危害作业分级均为0级(无危害作业),其对风险识别的敏感度低于其他风险评估方法<sup>[39-40]</sup>。对GBZ/T 229—2010的应用调查结果也指出,该标准仍存在工作场所多种化学物的分级、工作场所化学物与其他职业性有害因素的相互作用等需要解决的问题<sup>[41]</sup>。

2017年,原国家卫生和计划生育委员会发布了《工作场所化学有害因素职业健康风险评估技术导则》(GBZ/T 298—2017)(以下简称导则),于2018年4月15日正式实施。该导则推荐了定量风险评估法、定性风险评估法,以及接触限值比值法、接触指数法和综合指数法3种半定量风险评估法<sup>[42]</sup>。导则中的定量方法改良自美国EPA吸入风险评估模型,提供了部分化学毒物的RfC和IUR值;定性方法改良自英国COSHH Essentials模型,危害分级评定依据危险度术语或职业接触限值范围,接触等级主要考虑化学品的物理特性

和使用量;半定量方法参考新加坡模型,且在其基础上结合我国实际情况,增加了综合指数法。综合指数法中接触等级需考虑空气中化学物浓度、理化特性、使用量、接触时间和控制措施(包括工程防护、个人防护用品、应急救援和职业卫生管理)等因素,较为全面。

该导则的颁布实施是我国职业健康风险评估工作的里程碑,意味着我国职业健康风险评估工作开始规范化开展。作为我国真正意义上的第一个职业健康风险评估标准,该导则一经发布即有很多学者对其进行了不同行业的应用研究<sup>[43-44]</sup>。田亚峰等<sup>[45]</sup>和边洪英等<sup>[46]</sup>均应用该导则对蓄电池生产企业进行职业健康风险评估,认为其中的定性方法可作为职业接触限值评估的筛选和替代方法,或用于识别大型企业健康风险关键控制点;仅获得作业场所有害物质浓度和职业接触限值时可选用接触限值比值法,能获取更多信息时使用综合指数法;职业病危害因素暂无检测方法或尚未制定职业接触限值时可采用定性方法。但该标准仍然存在一些局限性,比如仅考虑吸入途径暴露,无法评估物理因素职业健康风险,半定量方法中粉尘和化学毒物的危害等级划分需要进一步细化等,今后尚需在应用实践后进一步完善。

### 4 展望

国内外各种职业健康风险评估方法均存在各自

的优点和局限性,在实际应用过程中需要综合考虑方法的特征和评估原理以及现场的实际情况,选用一种或多种职业健康风险评估方法。而方法学的适用性则是职业卫生工作者需要深入思考的最重要问题之一,在现阶段我国职业健康风险评估标准刚刚起步的状况下,为提高我国职业卫生管理水平,加强职业健康风险评估方法学研究,建立和推广符合我国国情、科学合理、操作性强的职业健康风险评估方法势在必行。今后可从以下三个方面进一步开展研究工作:(1)在关键行业广泛应用职业健康风险评估方法以评估其适用性;(2)对不同职业健康风险评估方法进行定量比较研究;(3)考虑职业健康风险评估方法的进一步优化或建模研究。

### 参考文献

- [1] 建设项目职业病危害预评价技术导则:GBZ/T 196—2007 [S]. 北京:人民卫生出版社,2008.
- [2] 中国法制出版社. 中华人民共和国职业病防治法 [M]. 北京:中国法制出版社,2012.
- [3] 张美辨,唐仕川. 职业健康风险评估方法学实践应用 [M]. 北京:人民军医出版社,2016.
- [4] 丁钢强,张美辨. 国外职业健康风险评估指南 [M]. 上海:复旦大学出版社,2014.
- [5] 袁伟明,傅红,张美辨,等. 国外五种职业危害风险评估模型在某电镀企业的应用 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2014, 32 (12): 965-967.
- [6] PECE S, DASCALESCU A. Risk assessment method for occupational accidents and diseases [EB/OL]. [2019-07-28]. [http://www.protectiamuncii.ro/pdfs/risk\\_assessment\\_method.pdf](http://www.protectiamuncii.ro/pdfs/risk_assessment_method.pdf).
- [7] University of Queensland. Occupational health and safety risk assessment and management guideline [R]. Australia: Occupational Health and Safety Unit, 2011.
- [8] International Council on Mining & Metals. Good practice guidance on occupational health risk assessment [EB/OL]. [2019-07-28]. <http://www.eisourcebook.org/cms/Feb%202013/ICMM-Good-Practice-Guidance-on-Occupational-Health-Risk-Assessment.pdf>.
- [9] COSHH Essentials-easy steps to control chemicals [R]. Sudbury: Health and Safety Executive, 1999.
- [10] 邹亚玲,陆利通,汤小鸥,等. 定性与半定量职业健康风险评估法在某胶黏剂生产企业的应用比较 [J]. 中国职业医学, 2018, 45 (6): 770-774, 778.
- [11] 余晓峰,韩丽芳,谢凯蕾,等. 罗马尼亚职业事故和职业病风险评估方法在某贵金属冶炼厂的应用效果 [J]. 浙江预防医学, 2016, 28 (2): 186-188, 191.
- [12] 边国林,王爱红,李晓海,等. 三种职业健康风险评估方法在小型家具制造企业的应用研究 [J]. 预防医学, 2017, 29 (10): 1003-1008.
- [13] 王莎莎,张美辨,蒋国钦,等. 澳大利亚职业风险评估模型在蓄电池生产企业中的应用 [J]. 浙江预防医学, 2013, 25 (12): 8-11, 48.
- [14] 厉小燕,陈坤,张美辨,等. 国际采矿与金属委员会职业健康风险评估模型在火力发电厂的应用研究 [J]. 浙江预防医学, 2013, 25 (11): 16-20, 27.
- [15] 丁士昆,胡志平,吴成峰. 两种风险评估方法在潮模砂铸造造型工艺职业健康风险评估中的应用 [J]. 职业与健康, 2018, 34 (24): 3324-3328.
- [16] 陈林,钱秀荣,赵都,等. 三种职业健康风险评估方法在某铅酸蓄电池企业中应用比较 [J]. 中国公共卫生, 2018, 34 (6): 849-853.
- [17] Risk assessment guidance for superfund volume I: human health evaluation manual (Part A): EPA/540/1-89/002 [S]. Washington, DC: Environmental Protection Agency, 1989.
- [18] Risk assessment guidance for superfund volume I: human health evaluation manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment): EPA-540-R-070-002 OSWER 9285.7-82 [S]. Washington, DC: Office of Superfund Remediation and Technology Innovation Environmental Protection Agency, 2009.
- [19] 冷朋波,李晓海,王群利,等. 低浓度苯暴露工人的职业健康风险评估 [J]. 环境与职业医学, 2018, 35 (11): 985-989.
- [20] 袁伟明,冷朋波,周莉芳,等. 应用国外两种风险模型评估职业危害的对比研究 [J]. 环境与职业医学, 2015, 32 (1): 51-55.
- [21] 赵铁锤,杨富,张广华,等. 危险化学品安全评价 [M]. 北京:中国石化出版社,2003.
- [22] 陈晓敏,刘林飞,姚海波,等. 半球扩散模型在建设项目职业病危害预评价中的应用 [J]. 现代预防医学, 2010, 37 (9): 1618-1619.
- [23] 叶斯阳,彭晓武,胡大林,等. 基于PBPk模型的深圳市加油站工人甲基叔丁基醚健康风险评估的初步研究 [J]. 环境与健康杂志, 2014, 31 (12): 1076-1079.

- [24] 张倩, 刘茂, 黄德寅. 苯暴露的致癌风险评价 [J]. 中国安全科学学报, 2011, 21 (5) : 143-147.
- [25] Ministry of Manpower Occupational Safety and Health Division. A semi-quantitative method to assess occupational exposure to harmful chemicals [R]. Singapore : Ministry of Manpower Occupational Safety and Health Division, 2015.
- [26] 周莉芳, 张美辨, 邹华, 等. 两种风险评估模型在多个行业职业健康风险评估的应用 [J]. 预防医学, 2017, 29 (12) : 1217-1222.
- [27] 谢红卫, 张美辨, 周莉芳, 等. 两种风险评估模型在印刷行业中的应用研究 [J]. 环境与职业医学, 2016, 33 (1) : 29-33.
- [28] 张鹏, 刘弢, 李辉, 等. 两种风险评估模型在转椅家具制造企业的应用比较 [J]. 预防医学, 2018, 30 (2) : 158-162.
- [29] 曹素红. 两种职业健康风险评估模型在上海市奉贤区某汽车零部件制造企业中的运用 [J]. 职业与健康, 2018, 34 (20) : 2740-2744.
- [30] 梁志明, 符发雄, 黎丽春, 等. 多种风险评估方法在铝尘作业岗位职业健康风险评估中的应用比较 [J]. 中国职业医学, 2018, 45 (6) : 766-769.
- [31] 林嗣豪, 王治明, 唐文娟, 等. 职业危害风险指数评估方法的初步研究 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2006, 24 (12) : 769-771.
- [32] 贺培兰, 赵春香, 董秋颖, 等. 装饰涂料制造企业风险评估中职业危害风险指数模型的应用 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2018, 36 (1) : 18-21.
- [33] 伍波, 程秀荣, 张高峰, 等. 应用两种风险评估模型评估 1, 3-丁二烯暴露的职业健康风险 [J]. 职业与健康, 2018, 34 (7) : 865-868.
- [34] United Nations. Globally harmonized system of classification and labeling of chemicals (GHS) [EB/OL]. [2019-07-28]. [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_rev04/English/ST-SG-AC10-30-Rev4e.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev04/English/ST-SG-AC10-30-Rev4e.pdf).
- [35] 卢健, 车礼东, 刘晓曦, 等. 化学品混合物的 GHS 分类方法研究及其应用 [J]. 中国安全科学学报, 2014, 24 (1) : 131-135.
- [36] 胡训军, 徐慧萍, 朱毅贞, 等. 化学混合物 GHS 分类方法在职业危害风险评估中的应用初探 [J]. 环境与职业医学, 2015, 32 (6) : 573-578.
- [37] 栾俞清, 张美辨, 邹华, 等. 家具制造企业半定量风险评估方法优化及应用研究 [J]. 预防医学, 2017, 29 (8) : 770-776.
- [38] TIAN F, ZHANG M B, ZHOU L F, et al. Qualitative and quantitative differences between common occupational health risk assessment models in typical industries [J]. J Occup Health, 2018, 60 (5) : 337-347.
- [39] 谢禾, 迟美娜, 李克勇. 建设项目职业病危害评价的量化性探讨 [J]. 职业卫生与应急救援, 2011, 29 (3) : 146-148.
- [40] 周莉芳, 张美辨, 袁伟明, 等. 应用美国国家环境保护署吸入风险模型评估职业危害的研究 [J]. 浙江预防医学, 2014 (2) : 109-113, 127.
- [41] 鲁洋, 张敏, 周志俊. GBZ/T 229.2—2010《工作场所职业病危害作业分级第 2 部分: 化学物》的应用调查 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2017, 35 (11) : 837-839.
- [42] 工作场所化学有害因素职业健康风险评估技术导则: GBZ/T 298—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [43] 叶飞, 杨琳, 张维, 等. 北京市陶瓷生产及耐火材料制造行业尘肺病危害风险评估 [J]. 职业与健康, 2018, 34 (14) : 1873-1876, 1880.
- [44] 张文翠, 朱钰玲, 胡伟江, 等. 选矿企业石棉粉尘的职业健康风险评估 [J]. 预防医学, 2018, 30 (9) : 879-883.
- [45] 田亚锋, 刘开钳, 吴礼康, 等. 比较三种职业健康风险评估模型在蓄电池生产企业的应用 [J]. 预防医学, 2018, 30 (12) : 1248-1251.
- [46] 边洪英, 胡伟江, 张恒东, 等. 不同职业健康风险评估方法在铅酸蓄电池生产行业的应用比较 [J]. 中国职业医学, 2018, 45 (6) : 713-718.

(英文编辑: 汪源; 编辑: 王晓宇; 校对: 汪源)